

治水事業の便益評価手法 — 不確実性下の便益定義を中心に —

Benefit Evaluation Method for the Flood Control Works

- Revisit of Benefit Definition under uncertainty -

森杉壽芳**, 大野栄治***, 高木朗義****

By Hisa MORISUGI, Eiji OHNO, and Akiyoshi TAKAGI

The conventional method of benefit measurement for the flood control works is based on the Economic Investigation for Flood Control directed by the Ministry of Construction in Japan, and mainly focused on measuring the damage cost of general property under perfect certainty. Effects of the flood control works, however, should be under uncertainty because it may include the reduction of the flood frequency and that of human anxiety for flood. In this paper, we inquire three types of benefit definition under uncertainty (Option Price, Certainty Equivalent Price and Fair Bet Price), and the Option Price is resulted in the most rational definition.

1. はじめに

費用便益分析 (Cost Benefit Analysis; CBA) は公共プロジェクトの社会的経済効率性を判定するための評価手法として確立され、河川事業においては1950年にアメリカのグリーンブックが水資源開発事業に採用したのをはじめとして長年に亘って重点的に行われてきた。わが国の治水事業においては、1970年に策定された治水経済調査要綱¹⁾に基づいて実施されている。

この治水経済調査では、便益計測に際して洪水氾濫による物的被害の軽減額の計測が行われている。このとき、被害項目の選択において計画者の恣意が入るた

めに、便益の計測漏れや波及効果の二重計算の可能性があること、さらに治水事業による洪水頻度 (= 不確実性) を減少させる効果が被害期待値で計測されていることなどの問題が残されている。

Kanemoto²⁾ は環境改善の効果計測手法について「住民が同質で、環境改善が微小であるならば、その効果は資産価値 (地価) の変化分あるいは住民の支払意思額に等しい」ということを理論的に示し、この理論に対し、平松・肥田野³⁾ は河川環境整備による実証研究を通じて資産価値の変化分と支払意思額の等価性を示した。しかし、これらの研究は確実性下で議論が進められており、不確実性下での評価を必要とする治水事業評価に、これらの手法をそのまま適用することはできない。また、宮田・安邊⁴⁾ は、治水事業の効果計測について上述の資産価値による方法と治水経済調査要綱に基づく方法との相対的比較により前者の適用限界を示したが、両手法の問題点 (上述したとおり) よりそれらによって計測される便益が治水事業の総便益に

* キーワード: 便益評価, 治水事業

** 正会員 工博 岐阜大学教授 工学部土木工学科

*** 正会員 工修 岐阜大学助手 工学部土木工学科
(〒501-11 岐阜市柳戸1-1)

**** 正会員 岐阜大学大学院工学研究科博士前期課程
中日本建設コンサルタント(株)

(〒460 名古屋市中区錦1-8-6)

一致するとは限らない。

本研究では、治水事業の便益計測において計測漏れや波及効果の二重計算の心配がないような便益定義の確立を目標とする。不確実性下の便益の定義については、既に約10年前、Graham⁵⁾が研究している。しかし、彼の分析は、本研究で定義するEV（等価的偏差）ではなく、CV（補償的偏差）に基づいているため、非常にわかりにくい。本研究では、この欠点の克服も目指している。

2. 治水事業の効果とその波及メカニズム

治水事業の効果には事業効果と施設効果がある⁶⁾。

このうち、事業効果とは事業による生産誘発効果（産業連関分析で計測可能）であり、ここでは分析対象外とする。施設効果は洪水被害の軽減効果に加えて、洪水頻度を減少させるという効果が追加される。このとき、生活部門にとっては、家屋、家庭用品等の物的被害、死亡、疾病、負傷等の人的被害、洪水に対する不快感、恐怖感等の精神的被害、清掃、補修、医療等の新たな出費、日常の社会生活活動の損失などが軽減され、その結果として個人の効用が増大する。

生産部門にとっては、建物、資産、在庫等の物的被害、清掃、補修等の新たな出費、流通システムの被害などが軽減され、直接的に企業利潤および雇用所得が増大する。雇用所得の増大は、そのまま個人の効用の増大となる。企業利潤は投資、内部保留等を通じて株主に配当されるので、その増大は個人の効用の増大をもたらす。また、立地条件の向上による企業立地の進行も、市場メカニズムを通じて間接的に個人の効用の増大をもたらす。

生活部門や生産部門に対する土地の供給者としての地主は、立地条件の向上による立地需要の増大を受けて、市場メカニズムを通じて土地価格を上昇させる。これは、直接的に個人の効用の減少および企業の生産性の低下をもたらす、さらに後者は上述のメカニズムにより個人の効用の減少をもたらす。

公共公益部門については、生産性の向上と所得の増大により税收の増大がもたらされるので、政府による公共サービスがさらに向上し、その結果として個人の効用が増大する。

また、治水事業に伴う自然環境の変化は、上述した

ような影響と同様に、市場メカニズムを通じて直接的・間接的に個人の効用の変化をもたらす。したがって、治水事業による便益の源泉を個人の効用の上昇分として捉えることができる。

以上のように考えると、確実性下⁷⁾と同様に不確実性下においても、効果は最終的に個人の（期待）効用の増大として、帰着されることがわかる。このため、以下では、生活部門（＝家計部門）における効果に焦点をあて、この効用の増大を貨幣タームで計測した便益の定義について考察する。

3. 生活部門の効用レベル

個人の達成可能な効用レベル U が河川流量 Q 、所得 Ω およびそれ以外の環境状態を示すベクトル r （各種財の価値と質）の3つの変数で説明される関数 $U(Q, r, \Omega)$ で表されると仮定する。また、この3つの変数のうち、河川流量 Q は外生的に与えられる値であるのに対し、所得 Ω と環境状態ベクトル r の2変数は、市場メカニズムを一般均衡分析で解くことによって求められる。

このとき、効用レベル U は、河川流量 Q に応じて図1のように変化すると考えられる。（ただし、渇水による効果低下の問題は、ここでは考えないこととする）すなわち、河川流量 Q が増えるにつれて、効用レベル U が徐々に減少し、ある河川流量（浸水が始まる流量規模、もしくは河川の流下能力）を境に急落する。そして、最終的（河川流量 $Q \rightarrow \infty$ ）には死亡という形となり、効用レベルは $-\infty$ になると考えられる。一方、河川流量 Q の発生頻度（確率密度）は図2のように右に歪んだ分布（例えば、Gumbel分布や対数正規分布など）を示すのが一般的である⁸⁾。したがって、効用レベル U の期待値（期待効用レベル） EU は、図1の効用レベル $U(Q, r, \Omega)$ と図2の確率密度 $f(Q)$ をそれぞれ河川流量 Q で掛けて足し合わせた図3の斜線部分の面積（左側の $U \cdot f(Q)$ が正となる範囲の面積から右側の $U \cdot f(Q)$ が負となる範囲の面積を引いたもの）で表現できる。また、この斜線部分の面積は、次式で表される。当然のことながら、期待効用レベル EU は河川流量 Q に関する積分値であるため、所得 Ω および環境状態ベクトル r の2変数で表される関数となる。

$$EU(r, \Omega) = \int_0^{\infty} U(Q, r, \Omega) f(Q) dQ \quad (1)$$

ここで、 Q ：河川流量

$EU(r, \Omega)$ ：期待効用レベル

$U(Q, r, \Omega)$ ：河川流量 Q に対する効用レベル

$f(Q)$ ：河川流量 Q の確率密度

$$\text{ただし、} \int_0^{\infty} f(Q) dQ = 1$$

今、浸水が始まる流量規模 Q_d を境界として、洪水時（サフィックス f ）と平常時（サフィックス o ）の2つの状態に分類する。このとき、式(1)は次式のように変形される。

$$EU = \int_0^{Q_d} U \cdot f(Q) dQ + \int_{Q_d}^{\infty} U \cdot f(Q) dQ \quad (2.1)$$

ここで、

$$U_o \equiv \int_0^{Q_d} U \cdot f(Q) dQ / \int_0^{Q_d} f(Q) dQ \quad (2.2)$$

$$U_f \equiv \int_{Q_d}^{\infty} U \cdot f(Q) dQ / \int_{Q_d}^{\infty} f(Q) dQ \quad (2.3)$$

$$P_o \equiv \int_0^{Q_d} f(Q) dQ = 1 - \int_{Q_d}^{\infty} f(Q) dQ \quad (2.4)$$

$$P_f \equiv \int_{Q_d}^{\infty} f(Q) dQ \quad (2.5)$$

とし、式(2.2)～(2.5)を式(2.1)に代入すると、期待効用レベル EU は次式のように表される。

$$EU = P_o U_o + P_f U_f \quad (3)$$

なお、 U_o 、 U_f は、図1に示すように、平常時と洪水時の2つの状態を代表する河川流量 Q_o 、 Q_f に対する効用レベル $U_o \equiv U(Q_o, r_o, \Omega_o)$ 、 $U_f \equiv U(Q_f, r_f, \Omega_f)$ となり、また、 $P_o (= 1 - P_f)$ および P_f は平常時と洪水時のそれぞれの状態の生起確率を示すこととなる。

治水事業には、河床掘削や築堤、引き堤などにより河道の流下能力を増加させる方法とダムや遊水池および流域対策などにより河道の流量を減らす方法があり、どちらか一方、あるいは双方を組み合わせて実施される。また、実施される治水事業の方法により、河川流量 Q の確率密度関数 $f(Q)$ および浸水が始まる流量規模 Q_d の変化が異なる。すなわち、前者の方法による

治水事業が実施されると、浸水が始まる流量規模は大きくなり、図1、2において Q_d が右に移動するが、河道へ流入する量は流速や粗度などの変化により、若干は変化するものの、ほとんど変化しないと考えられるので、図2の河川流量 Q の確率密度関数は変化しない

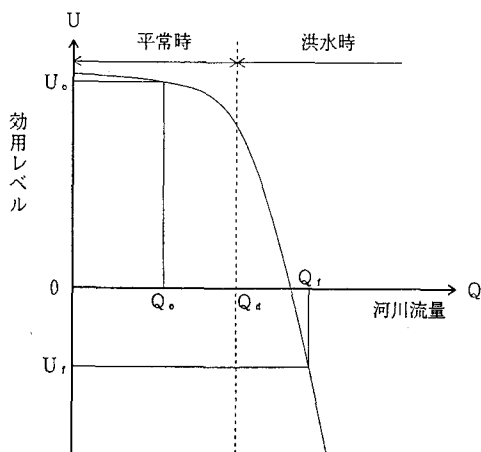


図1 河川流量と効用レベルの関係

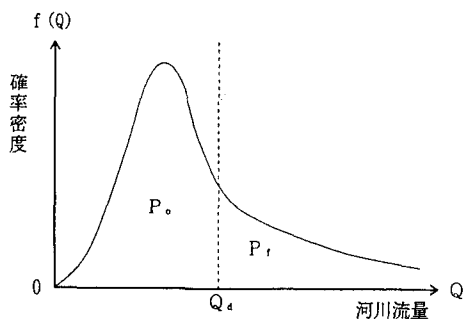


図2 河川流量の確率密度

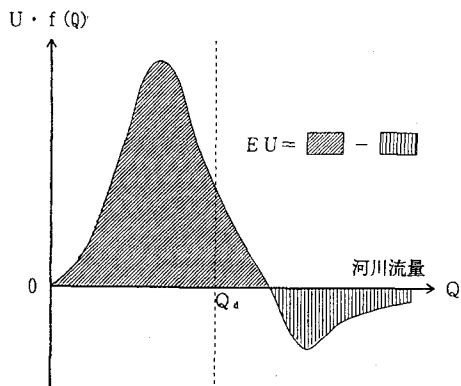


図3 期待効用レベル

い。一方、後者の方法による治水事業が実施されても、河道の流下能力は増加しないので、治水事業が実施される前と同じ流量規模で浸水が始まり、 Q_a は移動しないが、図2の確率密度関数において、小さい流量の頻度が増加し、大きい流量の頻度が減少する。その結果、どちらの方法による治水事業が実施されても、図2の Q_a より左側の面積が増加し、右側の面積が減少するため、平常時の頻度が増加し、洪水の発生頻度が減少することとなる。また、効用関数は全体的に上方に、あるいは、 Q_a の移動に伴って右にシフトすると考えられる。

したがって、治水事業は、平常時の効用レベル U 。を U^a から U^b に、洪水時の効用レベル U_f を U_f^a から U_f^b に変化させるのに加えて、洪水発生確率 P_f を P_f^a から P_f^b に、同時に、 P_o を P_o^a から P_o^b に変化させ、その結果、期待効用レベル EU を EU^a から EU^b に変化させる。

$$EU^a = P_o^a U_o^a + P_f^a U_f^a \quad (4.1)$$

$$EU^b = P_o^b U_o^b + P_f^b U_f^b \quad (4.2)$$

4. 不確実性下の便益定義

不確実性下における便益の定義として、ここでは等価的偏差 (Equivalent Variation; EV) の概念を拡張する。すなわち、治水事業を実施する前の状態において、治水事業を実施した後の期待効用値 EU^b を維持するという条件のもとに、治水事業を実施する前の状態にとどまるために必要であると個人が考える最小補償額を治水事業の便益とする。この考え方に基づいた便益の定義には、その補償額の支払い形式により、以下に示す3つのものが考えられる。

①一定補償価格 (Option Price; OP)

洪水時・平常時の如何にかかわらず一定の補償額を支払うとするもので、次式を構成するOPの値がそれである。

$$\begin{aligned} & P_f^a U(Q_f^a, r_f^a, \Omega_f^a + OP) + P_o^a U(Q_o^a, r_o^a, \Omega_o^a + OP) \\ &= P_f^b U(Q_f^b, r_f^b, \Omega_f^b) + P_o^b U(Q_o^b, r_o^b, \Omega_o^b) \\ &\equiv EU^b \end{aligned} \quad (5)$$

②相当補償価格 (Certainty Equivalent Price; CP)

洪水時・平常時の如何にかかわらず、一定の効用レベルを保つように補償額を支払うとするもので、次の2つの式を同時に満たす CP_f 、 CP_o の値がそれである。

$$\begin{aligned} & U(Q_f^a, r_f^a, \Omega_f^a + CP_f) \\ &= U(Q_o^a, r_o^a, \Omega_o^a + CP_o) \end{aligned} \quad (6.1)$$

$$\begin{aligned} & P_f^a U(Q_f^a, r_f^a, \Omega_f^a + CP_f) \\ &+ P_o^a U(Q_o^a, r_o^a, \Omega_o^a + CP_o) = EU^b \end{aligned} \quad (6.2)$$

③最小期待補償価格 (Fair Bet Price; FP)

補償額の期待値が最小となるような支払い形式とするもので、次式の最小化問題を解いた FP_f 、 FP_o の値がそれである。

$$\min. [P_f^a FP_f + P_o^a FP_o] \quad (7.1)$$

$$\begin{aligned} & \text{s.t. } P_f^a U(Q_f^a, r_f^a, \Omega_f^a + FP_f) \\ &+ P_o^a U(Q_o^a, r_o^a, \Omega_o^a + FP_o) = EU^b \end{aligned} \quad (7.2)$$

これらの便益を図解すると図4および図5のようになる。図4では、治水事業を実施する前の状態を点A ($\Omega_o^a, \Omega_f^a, P_f^a$)、治水事業を実施した後の状態を点B ($\Omega_o^b, \Omega_f^b, P_f^b$)とし、また、点A、点Bと同じ期待効用を持つ無差別曲線(面)をそれぞれ EU^a 、 EU^b としている。さらに、図の下部に示す EU^b は ($\Omega_o, \Omega_f, P_f^a$) 平面上に治水事業を実施した後の期待効用レベル EU^b の無差別曲線を投影したものである。図4の ($\Omega_o, \Omega_f, P_f^a$) 平面上を示したのが図5である。図5において、OPは点Aを通る45°の直線と無差別曲線 EU^b との交点Pとして、また、CPは点C、FPは無差別曲線 EU^b と傾き P_f^a/P_o^a の直線の接点Fとして与えられる^{9) 10) 11)}。

この3つの定義のうち、いずれの定義が望ましいかという問に対しては、以下のような理由から、一定補償価格OPが最善の定義であるといえることができる。

- (1) OPの定義によれば、どんな状況においても補償額が一定であるため、治水事業への投資額との比較は明確に可能であるが、CPやFPでは、状況によって補償額が異なり、どのような投資をすればよいかが判断できない。
- (2) 状況によって補償額が変わる場合には、状況ごとの補償額を支払うための処理費用が余分に懸かり、

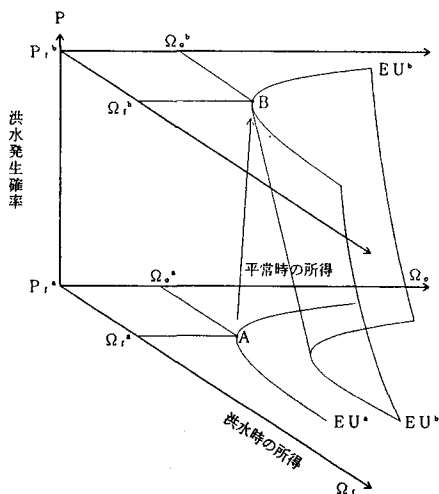


図4 不確実性下での期待効用レベルの変化

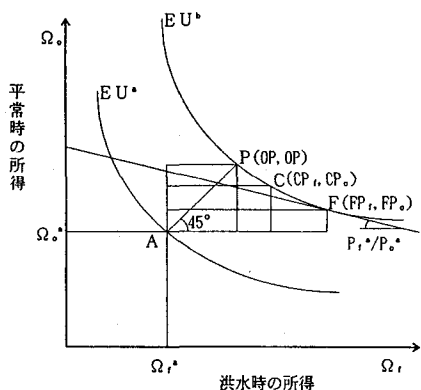


図5 不確実性下での便益

本来の補償額より高い額を支払うこととなる。

- (3) 状況に応じた補償額を支払ってもらえる場合は、個人の行動において道徳的危険を冒してしまう可能性がある¹²⁾。すなわち、洪水に見合った補償をしてもらえるならば、個人は洪水に対する準備や対策などをせず、そのために受けた被害についても補償してもらおうと考える。その結果、本来の補償額より高い額を支払う可能性がある。

5. 治水経済調査との比較

治水経済調査では、第1に、物理的被害のみを計算

し、洪水時の不安感、不潔感の解消など心理的便益が計算されていない。第2に、治水事業による被害軽減額に治水事業を実施する前の洪水確率を乗じて得られる期待値をもって、治水事業の便益と定義している。ここでは、第1の問題の計測法については別の機会に譲り、第2の問題点のみを述べる。ここで、被害軽減額が個人の効用の変化分として等価的偏差EVで計測できると仮定すると、治水経済調査に基づく治水事業の便益は、次式のESで定義できる。

$$ES = P_f^a EV_f + P_o^a EV_o \quad (8)$$

なお、 EV_f および EV_o は、洪水時および平常時の効用の変化分であり、次式で定義される。

$$U(Q_k, r_k^a, \Omega_k^a + EV_k) = U(Q_k, r_k^b, \Omega_k^b) \\ k = f, o \quad (9)$$

さらに、治水経済調査は、洪水時の被害軽減額のみを計測しているので、 $EV_o = 0$ とおくことができ、 EV_f の値は図6上では点Eで示される。よって、式(8)は、点Eを通る傾き P_f^a/P_o^a の直線で表され、ESはこの直線と治水事業を実施する前の状態を示す点Aから45°に引いた直線との交点Mと点Aとの縦軸と横軸の座標差で表される。

$$ES = \text{線分AH} = \text{線分MH} \quad (10)$$

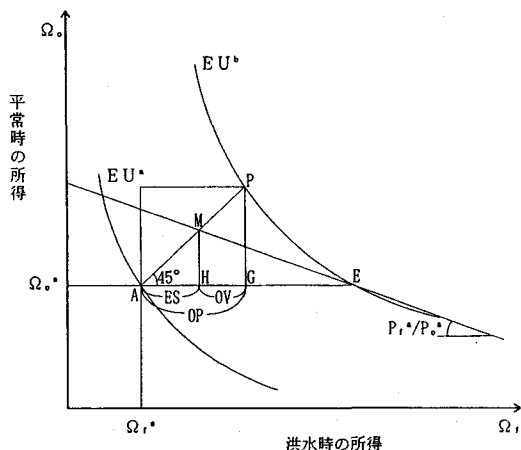


図6 OPとESとの比較

一方、OPは点Eと同じ期待効用を持つ無差別曲線 EU^0 上にあり、かつ、洪水時と平常時の値が同じとなる点、すなわち、図6における点Aから45°に引いた直線と EU^0 の交点Pと点Aとの縦軸または横軸の座標差で表される。

$$OP = \text{線分AG} = \text{線分PG} \quad (11)$$

このOPとESは、図6からも明らかなように一般には一致しない。一致するのは、効用関数が所得について線形である場合のみであり、通常の効用関数（所得の凹増加関数）の場合には、OPの値がESの値より大きくなる。それらの差はオプション価値（Option Value；OV）と呼ばれ、被害軽減額の期待値が同じであっても、洪水という一度発生するとその被害額が大きい事象に対しては、個人はより確実に不安の少ないものを選択するという被害軽減額の期待値だけでは計測できない個人の効用変化分を示す。言い換えれば、いつ発生するか判らない洪水に対して、発生したときのことを考えて平常時に支払ってもよいと考える額の変化分、すなわち、平常時における不安感の減少分である。また、これは図6では線分HGで表される。

$$OV = OP - ES = \text{線分HG} \quad (12)$$

6. おわりに

本研究では、生活部門における治水事業による便益の計測に対し、不確実性下の効用レベルを定義し、それに基づく3つの便益定義を比較検討した。定義そのものは、等価的偏差EVの概念を拡張したものであり、①洪水時・平常時の如何にかかわらず一定の補償額を支払うとする一定補償価格、②洪水時・平常時の如何にかかわらず一定の効用レベルを保つように補償額を支払うとする相当補償価格、③補償額の期待値が最小となるような支払い形式とする最小期待補償価格の3つを示し、これらの定義を比較検討した結果、①の一定補償価格が最前の便益定義であるとした。また、この一定補償価格と治水経済調査の方法に基づく便益との違いが平常時における不安感の減少分であることを示した。

この議論では、治水事業の便益計測において計測漏

れや波及効果の二重計算の心配がないような便益定義への展開を意図している。そのためには、不確実性下における治水事業による効果の波及構造を定式化し、効果の帰着先などを理論的に示さなければならない。また、現実問題への適用に際し、平常時と洪水時の境界を表す Q_a やそれぞれの状態を示す Q_0 、 Q_f の設定方法、さらにケーススタディを通して、一定補償価格の計測方法および計測値の妥当性について検討しなければならない。

【参考文献】

- 1) 建設省河川局編：治水経済調査要綱、1970年。
- 2) Kanemoto Yoshitsugu: Hedonic Prices and The Benefits of Public Projects, *Econometrica*, Vol. 56, No. 4, pp. 981~989, 1988.
- 3) 平松登志樹、肥田野登：河川環境整備効果の計測手法の比較分析、土木計画学研究・論文集、No. 7、pp. 107~114、1989年。
- 4) 宮田譲、安邊英明：地価関数に基づく治水事業効果の計測、第26回日本都市計画学会学術研究論文集、pp. 109~114、1991年。
- 5) Graham, D.A.: Cost-Benefit Analysis Under Certainty, *Reply*, *The American Economics Review* 74, 5: pp. 1100~1102, 1984.
- 6) 国土開発技術研究センター：水害の被害事象及び治水事業の経済効果に関する研究報告書、1991年。
- 7) 森杉壽芳：プロジェクト評価に関する最近の話題、土木計画学研究・論文集、No. 7、pp. 1~33、1989年。
- 8) 土木学会編：水理公式集、技報堂、pp. 131~140、1985年。
- 9) 森杉壽芳、大島伸弘：渇水頻度の低下による世帯享受便益の評価法の提案、土木学会論文集、第359号/IV-3、pp. 91~98、1985年。
- 10) 森杉壽芳、岩瀬広：地盤沈下の被害費用の測定に関する研究、土木計画学研究・講演集、No. 7、pp. 109~116、1985年。
- 11) Morisugi, H and Iwase, H: Measurement of Household Damage Costs from Ground Subsidence, *Papers of the Regional Science Association*, Vol. 63, pp. 13~29, 1987.
- 12) ハル、R. ヴァリアン：ミクロ経済分析、頸草出版、pp. 332~333、1986年。